第 64 卷 第 3 期　　天 文 学 报　　Vol. 64 No. 3
2023 年 5 月　　ACTA ASTRONOMICA SINICA　　May, 2023

doi: 10.15940/j.cnki.0001-5245.2023.03.001

太阳和太阳系等离子体研究专辑: 序言*

陈鹏飞[1,2†]　吴德金[3]

(1 南京大学天文与空间科学学院 南京 210023)
(2 南京大学教育部现代天文与天体物理重点实验室 南京 210023)
(3 中国科学院紫金山天文台行星科学重点实验室 南京 210023)

摘要 宇宙中超过99.9%的可见物质处于等离子体状态, 等离子天体物理是天体物理的重要分支, 为理解天体系统的形成、演化及爆发现象提供着重要的理论基础. 专辑通过14篇文章系统介绍了中国科学院紫金山天文台等离子天体物理团队在太阳和太阳系等离子体方面的研究成果, 希望能帮助读者全面了解太阳与日球等离子体物理研究的重要进展及存在的问题.

关键词 太阳, 日球, 等离子体, 波粒相互作用, 太阳射电辐射

中图分类号: P144;　**文献标识码**: A

1 引言

宇宙中99.9%以上的重子物质是以等离子体的形式存在, 这些等离子体或是完全电离或是部分电离, 或是有碰撞或是无碰撞, 或是无尘埃或是有尘埃......磁场与带电粒子、带电粒子之间以及带电粒子与中性粒子之间的非线性相互作用使得天体等离子体表现出非常丰富的现象与特征. 正因如此, 等离子天体物理已经发展成为天体物理的一个重要分支.

在理论研究方面, 我们既要开展磁流体力学研究, 也要对磁流体力学不再适用的领域(如粒子加速和波粒相互作用等)进行等离子体动力论的研究: 在观测方面, 我们既要开展多波段的遥测, 更有必要对无碰撞等离子体进行局地测量, 因为正是大量的微观过程决定了等离子体的宏观行为. 而太阳和日球是唯一既可以进行遥测也可以进行局地测量的恒星系, 是一个多尺度物理过程并存的天然等离子体实验室. 对太阳与太阳系等离子体的研究不仅为等离子体物理、高能物理、原子物理等多学科领域提供了重要的参考, 也为其他恒星、星系、黑洞吸积盘、喷流、中子星、分子云、活动星系核乃至星系际介质的研究提供了重要的线索[1].

早在上世纪50年代末, 人类便开启了太阳风的太空局地测量时代. 此后, 以ISEE (International Sun-Earth Explorer)、Helios、Ulysses、Wind、ACE (Advanced Composition Explorer)、DSCOVR (Deep Space Climate Observatory)和一些行星探测器为代表的卫星相继发射, 极大地提升了我们对太阳风结构和动力学的理解[2–3]. 而2018年发射的帕克太阳探针(Parker Solar Probe, PSP)则标志着人类的探测器首次进入日冕, 其抵近观测将太阳风的局地测量及相关的研究推向一个新的高峰. 中国科学院紫金山天文台吴德金研究员课题组长期从事太阳与日球等离子体物理的研究, 并利用帕克太阳探针等最新卫星的观测资料对太阳风等离子体的前沿课题开展理论与资料分析

2023-05-15收到原稿

*科技部重点研发计划(2020YFC2201200)资助

†chenpf@nju.edu.cn

研究工作. 为此, 我们将该课题组最新的工作进展集结成此专辑.

本专辑共收录了14篇文章, 除了对等离子天体物理进行全面的综述之外, 还专门探讨行星际磁云的传播动力学、太阳风等离子体波粒相互作用过程、太阳系射电辐射现象与辐射机制以及无碰撞等离子体基本物理过程. 该专辑的主要内容简介如下.

首先从宇宙演化历史、大尺度结构形成以及爆发活动现象等方面, 系统地论述了等离子天体物理学在现代天文学发展以及现代等离子体宇宙观形成中的重要作用, 进而阐述了太阳和日球在等离子天体物理学研究中所扮演的"天然实验室"的独特作用[4]. 对磁云边界层结构、环向通量、大尺度结构等方面的进展进行了综述, 并着重讨论了磁重联对磁云剥蚀及拓扑位形变化的影响[5]. 由于太阳风自日冕进入行星际空间一直在被加热, 专辑介绍了湍流在加热太阳风过程中的可能机制以及待解决的问题[6], 这些可能的加热机制包括阿尔文波[7]和电磁离子回旋波[8], 后者在火星上游太阳风存在大量证据[9]. 此外, 太阳风中电子具有的温度各向异性和束流等非热平衡分布可能激发电子不稳定性(包括电子声热流不稳定性以及低混杂热流不稳定性), 进而通过波粒相互作用加速太阳风[10]. 帕克太阳探针在近日太阳风中观测到多种高频静电波动, 为研究近日太阳风中的波粒相互作用带来了新机遇[11].

射电辐射是等离子体微观动力学过程的宏观表现, 其产生机制一直存在争议. 除了经典的等离子体辐射机制之外, 电子回旋脉泽辐射机制也受到了越来越多的关注[12]. 远离太阳的日球终止激波射电辐射观测[13]和基于帕克探针的近太阳射电辐射观测[14]对厘清这两种机制有望提供重要帮助, 而粒子云模拟也可以帮助我们区分这两种机制在观测上的不同表现[15].

等离子体的高度非线性主要源于波粒相互作用. 近年来, 对波粒相互作用的定量化理论研究取得了重要进展[16]. 等离子体非碰撞耗散机制是长期困扰太阳和日球等离子体爆发活动现象研究的一个基础性理论问题. 由于磁场非均匀性引起的带电粒子轨道运动的混沌性能够成为电流耗散的重要来源之一, 并进而导致反常电阻(称为混沌感应电阻)的形成. 近年来, 一些空间卫星实地探测和数值计算的研究显示, 混沌感应电阻在磁重联中可能起关键作用[17].

太阳和太阳系等离子体研究专辑的14篇文章涵盖理论, 也包括了观测: 既有对近年工作的总结, 也对未来发展进行了大胆的展望. 期望国内同行通过此专辑能够获得对太阳与日球等离子体物理研究的全面了解, 更希望以此吸引越来越多的年轻人投身这一充满挑战和机遇的研究领域.

参 考 文 献

[1] Chen P F. SSPMA, 2021, 51: 119632
[2] Zhang T L, Lu Q M, Baumjohann W, et al. 2012, Science, 336: 567
[3] Tsurutani B T, Zank G P, Sterken V J, et al. 2022, arXiv e-prints, arXiv:2209.14545
[4] 吴德金, 陈玲. 天文学报, 2023, 64: 24
[5] 冯恒强, 赵岩, 王杰敏. 天文学报, 2023, 64: 25
[6] 赵国清, 冯恒强, 吴德金. 天文学报, 2023, 64: 26
[7] 向梁, 吴德金, 陈玲. 天文学报, 2023, 64: 27
[8] 李秋幻, 杨磊, 向梁, 等. 天文学报, 2023, 64: 28
[9] 李家威, 杨磊, 吴德金. 天文学报, 2023, 64: 31
[10] 孙何雨. 天文学报, 2023, 64: 29
[11] 史晨. 天文学报, 2023, 64: 30
[12] 唐建飞, 吴德金, 赵国清, 等. 天文学报, 2023, 64: 32
[13] 陈玲, 吴德金, 李逸伦, 等. 天文学报, 2023, 64: 33
[14] 马兵, 陈玲, 吴德金. 天文学报, 2023, 64: 35
[15] 周晓伟, 吴德金, 陈玲. 天文学报, 2023, 64: 34
[16] 赵金松. 天文学报, 2023, 64: 36
[17] 王桢, 陈玲, 吴德金. 天文学报, 2023, 64: 37

A Special Issue on Solar and Heliospheric Plasma Research: Preface

CHEN Peng-fei[1,2] WU De-jin[3]

(1 School of Astronomy and Space Science, Nanjing University, Nanjing 210023)
(2 MOE Key Laboratory of Modern Astronomy and Astrophysics, Nanjing University, Nanjing 210023)
(3 Key Laboratory of Planetary Sciences, Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210023)

Abstract Over 99.9% of the baryonic matter in the universe is plasma, hence plasma astrophysics is an important branch of modern astrophysics, which provides the sound foundation for us to understand the formation, evolution, and various eruptive phenomena in astrophysical systems. The 14 papers in this Special Issue systematically introduce the research progress in the solar and heliospheric plasmas made by the Plasma Astrophysics group in Purple Mountain Observatory, with the aim to help readers get a glimpse of the research frontiers and remaining questions.

Key words Sun, heliosphere, plasma, wave-particle interaction, solar radio emission